

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Агеева Максима Игоревича

«Получение порошков жаропрочных никелевых сплавов и их применение в аддитивных технологиях», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5 «Порошковая металлургия и композиционные материалы»

Жаропрочные никелевые сплавы (ЖНС) используются для производства деталей горячего тракта в двигателестроении, работающих при температурах 800 – 1000 °С. Разработка новых сплавов и развитие технологий получения деталей необходима для повышения тактико-технических характеристик газотурбинных двигателей (ГТД). Производство сложнопрофильных изделий из ЖНС связано с трудностями, возникающими при механической обработке из-за низкой пластичности и структурной неоднородности сплавов. В связи с этим большими перспективами обладают аддитивные технологии (АТ), позволяющие получать изделия, максимально приближенные к конечной геометрии, и обладающие структурной и химической однородностью. Одним из распространенных методов получения порошков сферической формы является газовая атомизация, основным недостатком которой является образование на поверхностях порошков дефектов – сателлитов. Автором предложена технология механической обработки распыленного порошка ЖНС в шаровой вращающейся мельнице (ШВМ), которая позволяет повысить технологические свойства порошка за счет удаления сателлитов.

Более перспективными жаропрочными и теплопроводными являются сплавы на основе моноалюминиды никеля, однако проблемой для их промышленного производства являются низкие пластичность и трещиностойкость при лезвийной механической обработке. В диссертационной работе Агеева М.И. была применена технология получения сферических порошков, включающая получение сплавов методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), их измельчение, классификацию и обработку в потоке термической плазмы. Полученный узкофракционный сферический порошок был апробирован в технологиях горячего изостатического прессования (ГИП) и селективного лазерного сплавления (СЛС). Вышесказанное подтверждает, что выбранная соискателем для решения **проблема** разработки технологий производства порошков жаропрочных никелевых сплавов **актуальна**, а методы ее решения целесообразны.

В работе получены сплавы на основе алюминиды никеля с 15 % Мо и с 1 % Nb-0,9 % Hf с трехуровневой иерархической структурой. Для сплава с 15 % Мо первый уровень образуют дендритные зерна β -NiAl с прослойками молибденсодержащих фаз карбидов и боридов, второй - упрочняющие субмикронные выделения фазы (Cr,Mo), распределенные вдоль границ зерен, третий - когерентные нановыделения фазы (Cr,Mo) размером 10-40 нм в теле дендритов β -фазы.

Достоверность результатов гарантирована использованием комплекса современных методов исследования.

Новизна заключается в установлении закономерностей формирования структурно-фазового состава СВС-сплавов на основе моноалюминиды никеля с цирконием, обеспечивающие повышенную жаростойкость при скорости окисления на воздухе при $T = 1150$ °С, за счет образования наноразмерных $Zr_5Al_3O_{0,5}$;

определении параметров термообработки после СЛС и ГИП, которые обеспечивают прочность сплавов до 2318 МПа за счет нанодисперсных выделений фазы $Cr(Mo)$, β -фазы и когерентных межфазных границ зерен состава $(Mo_{0,8}Cr_{0,2})_xV_y$ и Cr_3Mo_3C ;

в β -сплаве с 1 % Nb и 0,9 % Hf установлено влияние дисперсных упрочняющих фаз Лавеса Co_2Nb и Cr_2Nb , Гейслера Ni_2AlHf и карбидов $(Hf_xNb_y)C$ на повышение временного сопротивления деформации при растяжении с 1360 МПа до 1870 МПа.

К важным результатам следует отнести успешное применение механической обработки распыленных порошков свариваемых жаропрочных никелевых сплавов, в результате которой удаляются сателлиты по механизму галтовки, текучесть сплава ВЖ159 улучшена на 20 %, насыпная плотность - на 13,7 %, плотность утряски - на 8,1 %.

Работа имеет **практическую значимость**: проведены промышленные испытания овализованных порошков в технологии прямого лазерного выращивания в АО «Русполимет», изготовлены модельные образцы рабочей лопатки турбины и сопла жидкостного ракетного двигателя; разработана и зарегистрирована технологическая инструкция ТИ 59-11301236-2023 на процесс изготовления узкофракционных сферических СВС-порошков из сплавов на основе моноалюминиды никеля, зарегистрировано «Ноу-хау» на состав и способ получения порошка сплава на основе моноалюминиды никеля.

Представленная к защите работа прошла апробацию на международных научных конференциях, результаты опубликованы в научно-технических периодических изданиях, рекомендованных ВАК и входящих в Международные библиографические базы цитирования.

Материалы диссертации в автореферате изложены логично и ясно.


В качестве **замечания** по работе следует отметить следующее: из автореферата не ясно, изменились ли химические составы порошков после обработки в шаровой мельнице.

Указанные замечания не снижают ценности диссертации. Работа отвечает требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям и Положения о порядке присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском технологическом университете «МИСИС», а ее автор Агеев Максим Игоревич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5 – Порошковая металлургия и композиционные материалы.


Профессор кафедры механики композиционных материалов и конструкций, директор Научного центра порошкового материаловедения ПНИПУ, доцент, доктор технических наук (05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы)

Тел.: +7 (342) 2-39-11-19, E-mail: ogleznevasa@pstu.ru

23 ноября 2023 г.

 Оглезнева
Светлана Аркадьевна

Даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертационной работы Агеева Максима Игоревича, и их дальнейшую обработку.

 Оглезнева С.А.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Адрес: 614990, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29

Тел. +7(342) 219-89-27, e-mail rector@pstu.ru. Официальный сайт <https://www.pstu.ru/>



Подпись

ЗАВЕРЯЮ

Член секретарь
Ученого совета ПНИПУ

В.И. Макаревич

20__ г.